

**Спутниковый комплекс научной аппаратуры для изучения геосферы,
термосферы, атмосферы Земли и космической погоды**

*В.В. Егоров¹, А.П. Калинин*², И.Д. Родионов³, А.И. Родионов³,
И.П. Родионова³*

¹ Институт космических исследований Российской академии наук,
Москва, Россия

E-mail: victor_egorov@mail.ru

² Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского Российской
академии наук, Москва, Россия

*E-mail: kalinin@ipmnet.ru

³ Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.
Семенова Российской академии наук, Москва, Россия

E-mail: i.rodionov@reagent-rdc.ru

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Цель доклада: Изложение концепции построения комплекса бортовой спутниковой аппаратуры, предназначенной для оперативного обнаружения предвестников чрезвычайных ситуаций и мониторинга «космической погоды».

Решаемые задачи: 1. Обзор объектов зондирования, включая: лимб Земли, солнечный диск, озоновый слой, атмосферу и земную поверхность, а также транзиентные явления. 2. Определение состава комплекса бортовой научной аппаратуры и ее тактико-технических характеристик. 3. Описание конструкции сенсоров, предназначенных для зондирования соответствующих целевых объектов, и их отдельных узлов. 4. Описание конструкции и работы детекторных блоков сенсоров, разработанных АО «НПЦ «Реагент». 5. Концепция информационной вычислительной системы комплекса.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Объекты зондирования

1. Лимб Земли. Свечение лимба вызвано релаксацией атомов, молекул и радикалов, Акустические волны, вызываемые процессами слабых подвижек в земной коре, переходят в ударную волну, которая, проходя по светящемуся слою, вызывает нарушение сложившегося в нем квазилокального равновесия, что служит одним из предвестников землетрясений.
2. Солнечный диск. Вспышки на Солнце приводят к усилению УФ-радиации в результате чего повышается температура и плотность термосферы. Высокоэнергетические процессы на Солнце оказывают влияние на состояние лимба Земли, спектральные сигнатуры подспутниковой поверхности. Установлено влияние вспышек на здоровье населения.
3. Озоновый слой. Состояние озонового слоя оказывает существенное влияние на биоту и, что особенно важно, на здоровье людей. Его можно эффективно контролировать по изучению отраженного от Земли солнечного света в УФ-С диапазоне.
4. Атмосфера Земли и земная поверхность. Состояние озонового слоя, солнечная активность и процессы, происходящие в земной коре, оказывают существенное влияние на атмосферу и биоту. Изменения, состояния атмосферы, биоты и геосферы эффективно регистрируются средствами гиперспектрального дистанционного зондирования.
5. Транзиентные световые явления. Изучение вспышек излучения в верхней атмосфере Земли, возникающих при электрических разрядах, а также связи этих вспышек с потоками заряженных частиц в околоземном космическом пространстве представляет интерес как с научной, так и практической точки зрения. Важность изучения транзиентных явлений вызвана тем, что число молниевых разрядов и энергия выделяемая ими так велики, что можно ожидать определенной связи между явлением разрядов и другими геофизическими явлениями.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Состав комплекса бортовой аппаратуры и ее тактико-технические характеристики

В состав комплекса входят следующие сенсоры:

- ультраспектрометр лимба Земли;
- УФ-телескоп Солнца;
- УФ-гиперспектрометр озонового слоя Земли;
- Гиперспектрометр атмосферы и поверхности Земли;
- Уф-сенсор транзиентных явлений.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Ультраспектрометр лимба Земли

- Аппаратура для мониторинга лимба Земли должна обеспечить получение информации о пространственно-временном распределении поля спектральной энергетической яркости лимба Земли, с ультраспектральным разрешением 0,1 нм в диапазоне 500 – 1300 нм.

УФ-телескоп Солнца

- Сенсор предназначен для прогнозирования изменений состояния объектов биосферы по локальным нарушениям химической кинетики малых компонент лимба Земли, диагностируемым по соотношениям свечений различных компонент молекул и атомов лимба, оценки влияния высокоэнергетических процессов на Солнце на процессы лимба Земли и спектральные сигнатуры подспутниковой поверхности.

УФ-гиперспектрометр озонового слоя Земли

- Гиперспектрометр служит для мониторинга состояния озонового слоя по измерениям в УФ-диапазоне (300-400 нм), захватывающим полосу поглощения Хаггинса (300–360 нм), а также для зондирования других газов в атмосфере Земли. В качестве детекторного блока в нем применен время-координатно-чувствительный-детектор (ВКЧД), использование которого позволит выделять отдельные спектральные линии газовых компонент, существенно увеличит чувствительность УФ-датчика озонового слоя Земли и улучшит временное разрешение, сделав его менее 1 мкс.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Гиперспектрометр для изучения атмосферы Земли и земной поверхности

Данные гиперспектральных измерений полезны для решения таких сложных задач, как детектирование малых объектов, идентификация состава атмосферы и объектов земной поверхности, различие между очень близкими классами предметов, оценки биохимических и геофизических параметров и т.п. Только гиперспектральные измерения могут выявить малые спектральные различия между отдельными элементами поверхности и служить индикатором интересующих исследователей объектов и процессов на поверхности Земли.

УФ-С сенсор транзиентных явлений

Результаты спутниковых исследований транзиентных явлений представляет интерес как с научной, так и практической точки зрения. Достоинствами предлагаемого УФ-С сенсора изучения транзиентных явлений являются его высокое пространственное разрешение (лучше 4 км с высоты орбиты 500 км), позволяющее получать их детальные изображения с временным разрешением менее 1 мкс.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Тактико-технические характеристики аппаратуры КНА

| Сенсор | Спектральный диапазон, нм | Число спектральных каналов | Спектральное разрешение, нм | Угловое поле зрения, град |
|--|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Ультраспектрометр лимба Земли | 550 – 650 700 – 1100 | 1000 400 | 0,1 | 6 |
| УФ-телескоп Солнца | 10-120 | 100 | 0,1 - 0,2 | 2 |
| УФ-гиперспектрометр озонового слоя Земли | 200-400 | 100 | 0,3 | 60 |
| Гиперспектрометр атмосферы и поверхности Земли | 400-1600 | 500 | 0,3 | 6 |
| УФ-С сенсор транзитных явлений | 250 | 1 | 10 | 120 |

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

1. Ультраспектрометр лимба Земли

Практически единственным способом спектральной фильтрации линий шириной 0,1 нм является использование перестраиваемых фильтров Фабри–Перо. В то же время данный фильтр позволяет сохранить двумерное изображение и максимально использовать поток фотонов от лимба. В случае предельно малых интенсивностей свечения требуется их регистрация в режиме счета отдельных фотонов. Обычно применяемые ПЗС матрицы не позволяют обеспечить такой режим. В данном случае для этого предлагается подход, основанный на использовании принципиально новых фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) с двумерным пространственным разрешением и существенно меньшим уровнем шумов в расчете на элемент пространственного разрешения. Это – так называемый время-координатно-чувствительный детектор (ВКЧД), созданный в АО «НППЦ «Реагент».

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

2. УФ-телескоп Солнца

Сенсор должен обеспечивать изображение солнечного диска с разрешением не хуже 100 точек по диску в спектральном диапазоне длин волн 10–120 нм. В качестве диспергирующего устройства датчика может применяться фильтр Фабри–Перо, а детектором может служить ВКЧД, разработанный АО «НТЦ «Реагент».

Внешний вид ВКЧД



Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

3. УФ-гиперспектрометр озонового слоя Земли

В сенсоре для измерения отражательной и поглотительной способности озонового слоя на любой длине волны в УФ-С-диапазоне в его объективе использованы УФ-фильтры со специально подобранными кристаллами. В предлагаемом УФ-гиперспектрометре озонового слоя Земли спектральный диапазон составляет 200–400 нм: в его состав включен спектроделитель, а детекторная секция выполнена на базе ВКЧД.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

4. Гиперспектрометр для мониторинга атмосферы Земли и земной поверхности

Сенсор состоит из двух гиперспектральных блоков, с поддиапазонами 400 – 900 нм и 900 – 1700 нм, охватывающих заданный спектральный диапазон. Такое конструкторское решение было сделано для обеспечения высокой чувствительности устройства в диапазоне 400 – 1700 нм. Блоки содержат: входной объектив, диафрагменный узел, коллиматор, диспергирующий блок, выполненный в виде дифракционной решетки. Далее по ходу лучей установлен выходной объектив и фотоприемное устройство. В качестве прототипов указанных блоков предполагается использовать разработанные в АО «НПЦ «Реагент» гиперспектрометры УГС и БИК1, внешний вид которых приведен ниже.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры



Внешний вид узкоугольного гиперспектрометра (УГС) с устройством наведения .

Тактико-технические характеристики гиперспектрометра

| Наименование параметра | Значение |
|---|----------|
| Спектральный диапазон, нм | 430-900 |
| Угол поля зрения. град | 4 |
| Ширина спектральных каналов, нм | 1,5 |
| Число спектральных каналов | 310 |
| Геометрический размер пиксела с высоты 1000м, м | 0,05 |
| Масса, кг | 4,5 |

Спутниковый комплекс научной аппаратуры



Внешний вид гиперспектрометра БИК1.

Тактико-технические характеристики гиперспектрометра БИК1

| Наименование параметра | Значение |
|---|-------------------|
| Спектральный диапазон, нм | 900-1700 |
| Угол поля зрения, град | 35 |
| Ширина спектрального канала, нм | 3,2 |
| Число спектральных каналов | 250 |
| Число пикселей по пространственной координате | 320 |
| Угловое разрешение, рад | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| Масса, кг | 8 |

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

5. Уф-сенсор транзиентных явлений

В качестве такого сенсора предлагается использовать разработанные в ЗАО «НПЦ «Реагент» устройства «Скорпион» или «Корона». В их состав входят: входной объектив, детектор, предварительные электронные тракты, модуль ввода цифровых данных и вывода сигналов управления, модуль вычислителя. Входной объектив состоит из системы линз, специальных кристаллических фильтров с хорошим пропусканием выбранного УФ-С-диапазона (240–260 нм) и подавлением других длин волн. Детектор включает в себя ВКЧД, многоканальный источник высоковольтного питания, зарядочувствительные усилители и стартовый канал. Также имеется система регистрации времени прихода фотона. Внешний вид сенсора “Скорпион” приведен ниже.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Описание конструкции сенсоров и их отдельных узлов

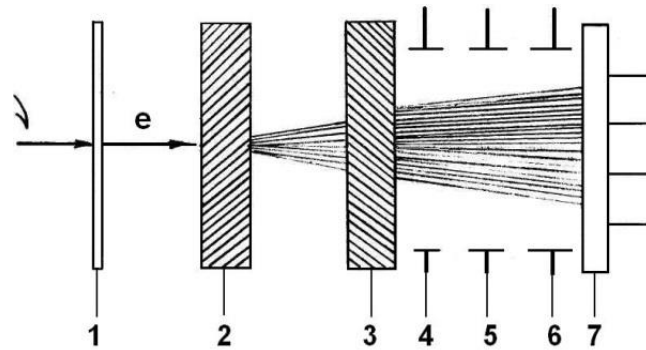
Внешний вид сенсора «Скорпион»



Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Время-координатно-чувствительный-детектор (ВКЧД)

ВКЧД играет важную роль в обеспечении их высокой чувствительности, широкого углового поля зрения и быстродействия.



Функциональная схема ВКЧД

Выбитый из фотокатода 1 фотоэлектрон попадает на сборку из микроканальных пластин (МКП) - 2,3, где на основе электронной лавины происходит размножение электронов. На выходе из второй МКП лавина электронов проходит систему корректирующих линз 4-6 и попадает на коллектор - 7. Коллектор 7 имеет сложную конструкцию, которая позволяет определять центр электронной лавины, который соответствует координате попавшего на фотокатод фотона (центр лавины условно считается координатой попадания фотона на фотокатод). Таким образом, формируется изображение, аналогичное изображению на матрице, обычно используемой в таких случаях.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Информационная вычислительная система комплекса

Бортовая вычислительная система (БВС), созданная в АО «НПЦ «Реагент» реализуется как распределенная система из многих компьютеров (процессоров) и должна выполнять все прикладные задачи, типичные для управления комплексом бортовой аппаратуры. Объединение выполнения различных вычислительных функций в единую систему с высокой степенью резервирования позволит осуществить тесное взаимодействие между свободными и закрепленными вычислительными ресурсами для выполнения различных заданий при возникновении сбоев. Свойства элегантной деградации БВС обеспечивают живучесть и непрерывность управления КА с длительным (≥ 10 лет) сроком существования. Архитектура бортового компьютера соответствует однородной симметричной многокомпьютерной системе - состоит из нескольких (от 3 до 16) идентичных узловых компьютеров, соединенных резервированными линиями связи. Компьютерные модули аппаратно идентичны и различаются лишь выполняемыми ими функциями. Для обеспечения резервирования одну и ту же функцию могут выполнять по крайней мере два компьютера. Каждый модуль может работать в режиме последовательной передачи данных на любой частоте в интервале 500 Мбит/с – 3,125 Гбит/с.

Спутниковый комплекс научной аппаратуры

Заключение

Предлагаемый перспективный проект комплекса научной аппаратуры, предназначенный для размещения на малом космическом аппарате, представляет собой принципиально новый этап разработки спутниковых измерительных систем мониторинга лимба Земли, изучения солнечно-земных связей и слежения за космической погодой. Комплекс бортовой аппаратуры – это спутниковая измерительная система, позволяющая решать как классические задачи физики околоземного пространства, так и сугубо прикладные. В проекте при обосновании состава и параметров сенсоров комплекса учтены достижения отечественных и зарубежных разработчиков.

**Благодарим за
внимание**